



FACULDADE DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS - FATECS
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

FELIPE DE SOUZA WINOVSKI

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO
DA ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS DA
CIDADE DE BRASÍLIA**

Brasília

2016

FELIPE DE SOUZA WINOVSKI

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO
DA ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS DA
CIDADE DE BRASÍLIA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais
Aplicadas do UNICEUB, Brasília/DF, para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Civil, sob a orientação da Profª. Cristiane
Fernanda da Silva.

Brasília

2016

FELIPE DE SOUZA WINOVSKI

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO
DA ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS DA
CIDADE DE BRASÍLIA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado ao Curso de Engenharia Civil da
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais
Aplicadas do UNICEUB, Brasília/DF, para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Civil, sob a orientação da Prof^a. Cristiane
Fernanda da Silva.

Brasília, 10 de Junho de 2016.

Banca Examinadora

Prof.^a M. Sc. Cristiane Fernanda da Silva,
Orientadora

Eng^o. Civil: Júlio César Sebastiani Kunzler, M. Sc.
Examinador Interno

Eng^a. Sanit. Amb. Jackeline do Socorro Benassuly Barbosa, M.Sc.
Examinador Externo

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pelo dom da vida, a minha família pelo total apoio nessa caminhada vitoriosa, aos meus avós pelo carinho e a minha querida namorada Gabriela pela compreensão durante todo esse tempo. Enfim, muitíssimo obrigado a todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus professores que estiveram comigo ao longo desses cinco anos me auxiliando e ensinando.

Aos colegas de sala que fizeram parte dessa jornada longa.

A minha instituição e a todos que proporcionaram um ambiente criativo, amigável e de ensino de qualidade.

Por fim, e não menos importante agradeço incondicionalmente a minha orientadora Cristiane Fernanda da Silva pela sua dedicação, compreensão, paciência, conhecimento, correções e por ter participado dessa importante etapa acadêmica.

Obrigados a todos que fizeram parte dessa caminhada.

“Confia no Deus eterno de todo o seu coração e não se apoie na sua própria inteligência. Lembre-se de Deus em tudo o que fizer, e ele lhe mostrará o caminho certo.”

(Provérbios. 3: 5-6)

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo realizar um estudo de viabilidade econômica do aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em residências da cidade de Brasília. Foram definidos três tipos de padrões socioeconômicos para as residências: um popular, um médio e um alto. Em seguida, foram definidos os pontos de consumo e estimadas as demandas não potáveis dessas residências. Com o levantamento dos dados pluviométricos, obtidos da estação de tratamento de esgoto – ETE NORTE procedeu-se com as estimativas das disponibilidades da água da chuva, o que possibilitou a verificação do dimensionamento dos reservatórios com base em um dos métodos recomendados pela norma NBR 15527/2007. Os volumes obtidos pelos métodos de Rippl, Azevedo Neto e Prático Australiano se mostraram impraticáveis, tanto do ponto de vista técnico como econômico, uma vez que, resultaram em volumes muito grandes, devido em grande parte pelas condições climáticas da cidade de Brasília, devido aos longos períodos de seca. Enquanto que, para os métodos Prático Alemão e Prático Inglês os volumes resultaram bem menores o que sequer atendiam as demandas dessas residências, o que resultaria em períodos de grandes falhas. Por isso, foi necessária a reavaliação dos pontos de consumo e optou-se em adotar o sistema de aproveitamento, principalmente para os períodos chuvosos, enquanto que, para os períodos de seca seria usado de forma complementar o sistema fornecido pela CAESB. Após essas considerações foram recalculados para as novas demandas e com isso se definiu os volumes para os três padrões com base nas demandas e no Método Prático Alemão. Com base nos custos de investimentos iniciais necessários para a implantação do sistema e no atual cenário de tarifas, o aproveitamento da água da chuva demonstrou, do ponto de vista financeiro, como uma alternativa economicamente inviável para os três padrões e com um período de retorno variando de 28,3 a 37,9 anos. Embora esse período possa parecer longo e inviável economicamente, a decisão de construir um sistema desses tem o objetivo maior de garantir o futuro de sustentabilidade hídrica, promovendo a conservação da água.

Palavras-chave: Água da chuva. Captação. Dimensionamento do reservatório. Viabilidade econômica. Brasília.

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA: Agência Nacional de Águas

ASA: Articulação no Semiárido Brasileiro

CAESB: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

ETE: Estação de Tratamento de Efluentes

FIESP: Federação da Indústria do Estado de São Paulo

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

NBR: Norma Brasileira

ONU: Organização das Nações Unidas

P1MC: Programa um Milhão de Cisternas

UNESCO: Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	16
Figura 2 - Abanbar, Tradicional Sistema de Captação de Água Comunitário do Irã.....	22
Figura 3 - Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva do Estádio Nacional - DF.....	23
Figura 4 - Funcionamento do Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva em uma Residência	30
Figura 5 - Vista da Cisterna em Corte com os Equipamentos	31
Figura 6- Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Uma Estimativa da Distribuição Global da água (valores arredondados)	17
Tabela 2 - Distribuição dos Recursos Hídricos e Densidade Demográfica do Brasil.....	18
Tabela 3 - Disponibilidade Hídrica no Brasil por Estados	19
Tabela 4 - Parâmetros de Qualidade de Água de Chuva para Usos Restritivos não Potáveis	26
Tabela 5 - Diferentes Qualidade de Água para Diferentes Aplicações.....	29
Tabela 6 - Técnicas de Tratamento da Água da Chuva em Função da Localização.....	30
Tabela 7- Frequência de Manutenção	32
Tabela 8 - Demanda Residencial Não Potável	39
Tabela 9 - Características da Residência Popular.....	39
Tabela 10 – Valores adotados para os Cálculos das Demandas da Residência de Padrão Popular	40
Tabela 11 - Valores Adotados para os Cálculos das Demandas da Residência de Padrão Médio.....	41
Tabela 12 - Valores adotados para os Cálculos das Demandas da Residência de Alto Padrão ...	42
Tabela 13- Alguns Dados Climáticos de Brasília.....	43
Tabela 14- Dados da Estação ETE NORTE	43
Tabela 15 - Volume Estimado de Chuva Mensal para Residência de Padrão Popular	45
Tabela 16- Volume Estimado de Chuva Mensal para os Três Padrões de Residência	46
Tabela 17 - Volume a ser Descartado da Água de Lavagem do Telhado	46
Tabela 18- Dimensionamento do Reservatório pelo Método de Rippl para Residência Popular	47
Tabela 19- Dimensionamento do Reservatório pelo Método Prático Australiano para Residência Popular	49
Tabela 20 - Volume dos Reservatórios para os Diferentes Métodos e Para os Três Padrões.....	49
Tabela 21- Eficiência Mensal do Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva para os Três Padrões	51
Tabela 22- Novas Demandas Após a Reavaliação dos Pontos de Consumo.....	52
Tabela 23- Volumes Obtidos Pelo Método Prático Alemão.....	52
Tabela 24- Estimativa de Preço Médios de Mercado Meramente Ilustrativos para Cisterna de 10m ³	53
Tabela 25- Tarifas Cobradas pela CAESB	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1 CICLO HIDROLÓGICO	15
3.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL.....	18
3.3 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA O AGRAVAMENTO DA CRISE HÍDRICA	20
3.4 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA USOS NÃO POTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS	20
3.4.1 Histórico do Aproveitamento de Água de Chuva.....	21
3.4.2 Normas para o Aproveitamento de Água de Chuva	24
3.4.3 Padrão de Qualidade da Água de Chuva para Usos não Potáveis em Residências	25
3.4.4 Funcionamento do Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva	27
3.4.5 Métodos de Dimensionamento de Reservatórios (Cisternas).....	32
4 METODOLOGIA.....	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	38
5.2 ESTIMATIVAS DAS DEMANDAS NÃO POTÁVEIS.....	38
5.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA REGIÃO	43
5.4 ESTIMATIVAS DAS PRODUÇÕES DA ÁGUA DA CHUVA	44
5.5 DESCARTE DA ÁGUA DE LAVAGEM DO TELHADO	46
5.6 VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	46
5.7 EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA	50
5.8 LEVANTAMENTO DOS MATERIAIS E CUSTO DE IMPLANTAÇÃO	51
6 CONCLUSÃO.....	57
7 RECOMENDAÇÃO	58
REFERÊNCIAS	59
ANEXO A - DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA ESTAÇÃO ETE NORTE	61

1 INTRODUÇÃO

A escassez da água é um problema sério que a humanidade tem enfrentado atualmente, uma vez que, esse recurso natural é uma substância imprescindível, não somente à vida, mas também, ao desenvolvimento de qualquer civilização, a ponto de muitos conflitos serem motivados pelo controle desse precioso recurso (PENA, 2016).

Diversos são os fatores que influenciam na escassez desse recurso natural, dentre eles, pode-se destacar o crescimento populacional elevado, a má distribuição populacional, o desperdício e a poluição. No Brasil muitas cidades sofrem com a falta de abastecimento de água, seja pelos problemas apresentados acima, seja por fatores geográficos, climáticos e políticos, visto que, regiões mais populosas são as que mais demandam água, mais poluem, mais degradam e mais desperdiçam (HINRICHSN et al., 2005).

A crise no abastecimento de água, segundo Relatório da Organização das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Água (Água para um Mundo Sustentável, 2015), ocorre também por causa da inoperância dos líderes políticos em se adotar políticas públicas com objetivo de se executar ações para amenizar a crise da escassez de água. Por todos esses motivos, há a necessidade de se buscar alternativas cada vez mais inovadoras e eficientes para o uso racional da água pela sociedade. Neste contexto, uma das alternativas é a implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em residências.

O sistema de aproveitamento da água da chuva, segundo Tomaz (2005), é uma técnica milenar que está ganhando espaço nos dias atuais, sendo cada vez mais utilizado em regiões que não dispõem de abastecimento público de água ou até mesmo em regiões que possuem serviços de abastecimento, pois o aproveitamento da água da chuva, nesses casos, desempenharia um papel importante na complementação da oferta de água fornecido pelas concessionárias.

A água da chuva, após um tratamento prévio, pode ser utilizada em descargas de vasos sanitários, lavagem de calçadas e de automóveis, rega de plantas dentre outros. Desta forma é possível reduzir o consumo de água potável fornecida pela concessionária local e conseguir uma economia financeira.

Entretanto, para a implantação desse sistema se faz necessários estudos acerca da viabilidade técnica, ou seja, das demandas a serem atendidas, do dimensionamento do sistema

de captação, de coleta, de tratamento e de reservação, levando-se em conta as características climáticas da região, os dados históricos de chuva do local a ser implantado, bem como, da viabilidade econômica do sistema.

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva para os diferentes padrões socioeconômicos de moradia (popular, médio e alto) que visam atender as demandas não potáveis de tais residências.

Será apresentado o potencial de economia de água e de recursos financeiros através da implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em residências na cidade de Brasília, área de estudo, em relação ao sistema de abastecimento de água fornecido pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de economia de água e de recursos financeiros através da implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em residências na cidade de Brasília em relação ao sistema de abastecimento de água fornecido pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB para três tipos de residências com níveis socioeconômicos variados: padrão popular, padrão médio e alto padrão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com a elaboração desse trabalho, almejou-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Estimar a demanda de água não potável para os três padrões de residências, com base em estudos que apontam para valores de consumo da água numa residência, podendo ser atendidos com água da chuva;
- Estimar o volume de chuva aproveitável com base no levantamento dos dados pluviométricos da região para os três padrões;
- Propor o volume ideal do reservatório para o aproveitamento da água da chuva em residência pelos métodos recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT;
- Analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de aproveitamento da água da chuva para três padrões de residências.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Para compreender a viabilidade dos sistemas de aproveitamento da água de chuva, faz-se necessário um estudo mais detalhado sobre: Ciclo Hidrológico; Disponibilidade de Recursos Hídricos no Brasil; Principais Problemas de Escassez de Água no Brasil e Aproveitamento de Água de Chuva para Usos não Potáveis em Residências. Além disso, foi estudado como esse aproveitamento visa reduzir os impactos causados pelas ações antrópicas sobre a natureza.

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

A água é uma das únicas substâncias que aparece na natureza, em circunstâncias naturais, nos três estados físicos da matéria. A coexistência destes três estados implica segundo Gonçalves (2006), na existência de transferências contínuas de água de um estado para outro, conhecido como ciclo hidrológico.

De acordo com o referido autor, esse ciclo é um processo importante para a manutenção da vida, pois, é através dele que ocorrem a renovação da água, a variação climática, a criação de condições para o desenvolvimento de plantas e animais e o funcionamento de rios, oceanos e lagos.

A força motriz de todo esse ciclo vem da energia proveniente do sol e da força da gravidade, que provocam o aquecimento do ar, do solo e da água, resultando na evaporação das águas dos oceanos, dos continentes, na transpiração das plantas e no movimento das massas de ar. O vapor gerado é transportado pelo ar e em circunstâncias específicas fica em torno de dez dias na atmosfera (tempo de residência) até que se condense no interior das nuvens pelos processos de coalescência e difusão de vapor, provocando assim, as precipitações, na forma de chuva, granizo, orvalho e neve, (TOMAZ, 2005).

A água precipitada retorna novamente para os oceanos e os continentes. A parte que atinge a superfície pode seguir diferentes caminhos: parte da água pode ser interceptada pelas vegetações e construções; parte pode escoar sobre a superfície em direção às regiões mais baixas, em córregos; e outra parte pode se infiltrar e percolar no solo ou nas rochas pelos espaços vazios para zonas mais profundas onde é armazenada no subsolo, podendo alimentar os aquíferos ou ressurgir na superfície novamente na forma de nascentes ou fontes, onde

posteriormente verterá num córrego ou será armazenada temporariamente num lago e ser transportado pelos rios até o oceano, onde recomeça o ciclo (GONÇALVES, 2006).

Esse ciclo pode ser considerado fechado, quando observado em escala global, pois, a água retorna para seu estágio inicial por meio dos processos descritos acima como evaporação, precipitação, interceptação, infiltração, percolação, armazenamento e escoamento superficial, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: USGS (2015)

Segundo Shiklomanov (1993), o volume de água em termos globais é de 1,338 bilhões de quilômetros cúbicos, conforme apresentado na Tabela 1, sendo esse valor considerado virtualmente constante durante a história da humanidade, segundo os trabalhos desenvolvidos pelo Programa Hidrológico Internacional (UNESCO, 1998).

Pode-se notar com base na tabela 1 que a pequena fração de água doce mais facilmente disponível (rios) está comprometida em termos de qualidade, principalmente pela falta de planejamento urbano de uso e ocupação do solo e de leis mais efetivas.

Tabela 1- Uma Estimativa da Distribuição Global da água (valores arredondados)

Fonte de água	Volume de água em quilômetros cúbicos	Percentagem de água doce	Percentagem total de água
Oceanos, Mares e Baías	1.338.000.000	—	96,54
Calotas polares, Geleiras e Neve permanente	24.064.000	68,7	1,74
Lençóis freáticos	23.400.000	—	1,69
Fresh	10.530.000	30,1	0,76
Salina	12.870.000	—	0,93
Umidade do solo	16.500	0,05	0,001
Ice Ground e Permafrost	300.000	0,86	0,022
Lagos	176.400	—	0,013
Fresh	91.000	0,26	0,007
Salina	85.400	—	0,006
Atmosfera	12.900	0,04	0,001
Água do pântano	11.470	0,03	0,0008
Rios	2.120	0,006	0,0002
Água biológica	1.120	0,003	0,0001

Fonte: Shiklomanov (1993) (Adaptado)

Entender os mecanismos e a dinâmica do ciclo hidrológico é imprescindível para quantificar o aproveitamento de água de chuva. A viabilidade dos sistemas de captação da água de chuva está ligada diretamente com a precipitação que ocorre em uma determinada bacia durante o ano.

A precipitação, na forma de chuva, é um dos fatores hídricos mais importantes para o dimensionamento de obras hidráulicas, reservatórios de acumulação ou armazenamento de água, por isso é importante a obtenção de séries históricas de chuva numa dada região pelas estações meteorológicas mais próximas do local a ser realizado a implantação do sistema

Atualmente, essas informações podem ser encontradas nas redes oficiais de meteorologia no site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia e no site da ANA - Agência Nacional de Águas.

3.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO BRASIL

Como relatado anteriormente, a água é um dos recursos naturais mais importantes para humanidade, para sua subsistência e para seu desenvolvimento, por isso, devemos utilizá-la de maneira racional para não comprometer sua disponibilidade para as gerações futuras, em termos de quantidade e de qualidade.

O Brasil se destaca, dentre outros países, pela sua grande quantidade de água doce proveniente principalmente de seus rios, que representa cerca de 13% da água que escoa superficialmente no mundo (ANA, 2014). Apesar dessa grande disponibilidade hídrica, não que dizer que o país não possua problemas de falta de água, pelo contrário, há regiões, como apresentado na

Tabela 3, em situações de escassez de água devido a sua má distribuição no território brasileiro como apresentado também na Tabela 2.

Com base na Tabela 2, pode-se dizer que as regiões com as menores densidades demográficas são as que apresentam as maiores concentrações dos recursos hídricos do país. A região Norte possui uma densidade demográfica de apenas 4,12 habitantes para cada quilômetro quadrado, cerca de 7% da população, concentra 68,5% do total de recursos hídricos disponíveis no país, enquanto que na região Nordeste e Sudeste, a densidade demográfica é de 34,15 e 86,92 hab/Km² e possui apenas 3,3 e 6% do total de recursos hídricos do Brasil, respectivamente.

Tabela 2 - Distribuição dos Recursos Hídricos e Densidade Demográfica do Brasil

Região	Densidade demográfica (Hab/Km ²)	Concentração dos recursos hídricos do país (%)
Norte	4,12	68,5
Nordeste	34,15	3,3
Centro-Oeste	8,75	15,7
Sudeste	86,92	6
Sul	48,58	6,5

Fonte: IBGE/ Agência Nacional das Águas (2010)

Na

Tabela 3 é apresentada a disponibilidade hídrica per capita anual por estado e a situação em que o estado se encontra com relação a essa disponibilidade, podendo ser classificado como riquíssimo, muito rico, rico, adequado, pobre e crítica. Observar-se que o Distrito Federal se encontra em uma situação considerada pobre, sendo sua disponibilidade hídrica per capita inferior a 1752 m³/hab.ano o que indica que medidas, como o aproveitamento da água de chuva, devem ser implantadas assim como o uso racional dos recursos hídricos, para diminuir os efeitos da escassez hídrica.

Tabela 3 - Disponibilidade Hídrica no Brasil por Estados

Estado	População (Hab)	Disponibilidade Hídrica per capita (m ³ /Hab.ano)	Situação
RR	324.152	1.747.010	Riquíssimo > 20.000
AM	2.840.889	878.929	
AP	475.843	678.929	
AC	557.337	369.305	
MT	2.498.150	258.242	
PA	6.188.685	217.058	
TO	1.155.251	137.666	
RO	1.377.792	132.818	
MS	2.075.275	39.185	
GO	4.994.897	39.185	
RS	10.179.801	20.798	
MA	5.638.381	17.184	Muito rico > 10.000
SC	5.333.284	13.662	
PR	9.558.126	13.431	
MG	17.835.488	12.325	
PI	2.840.969	9.608	Rico > 5.000
ES	3.093.171	7.235	
BA	13.066.764	3.028	Adequado > 2.500
SP	36.966.527	2.913	
CE	7.417.402	2.436	Pobres < 2.500
RJ	14.367.225	2.315	
RN	2.770.730	1.781	
DF*	2.043.169	1.752	
AL	2.817.903	1.751	
SE	1.779.522	1.743	Crítica < 1.500
PB	3.436.718	1.437	
PE	7.910.992	1.320	

Fonte: IBGE/ Agência Nacional das Águas (2010) (adaptado)

3.3 FATORES QUE CONTRIBUEM PARA O AGRAVAMENTO DA CRISE HÍDRICA

Conforme Pena (2016), o Brasil, apesar de possuir as maiores reservas de água por unidade territorial do planeta, enfrenta a crise de escassez de água, como se observa nos noticiários mais recentes. Destacam-se alguns problemas que contribuem para o agravamento dessa escassez, tais como:

- Crescimento Populacional elevado sobrecarrega os sistemas de abastecimento de água, visto que, o consumo, o desperdício e a poluição tendem aumentar em consequência do crescimento populacional. De acordo como a Organização das Nações Unidas – ONU, o volume diário de água que uma pessoa precisa para atender às suas necessidades básicas é de 110 litros;
- Distribuição populacional em relação a distribuição geográfica das reservas de água é outro fator importante a ser considerado, como observado na Tabela 2, foi que a maior parte da população não reside onde a água se encontra disponível de forma mais abundante, o que sobrecarrega os sistemas de abastecimento de água dessas regiões;
- Desperdício de água tem influência no agravamento da escassez desse recurso, uma vez que, tem contribuído para aumentar o seu consumo. Segundo o Boletim Legislativo Nº 27 de 2015 do Governo Federal, o percentual do desperdício de água tratada no País, em razão de falhas nas tubulações, de fraudes e de ligações clandestinas, é de 37%;
- Poluição da água é um problema que compromete o seu ciclo, reduz o volume disponível para o uso pela população e contribui com o aumento das doenças de vinculação hídrico, principalmente, o que está relacionado, de acordo com o Boletim, com a ocupação irregular do solo.
- Desmatamento, erosão, mudanças climáticas, falta de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

3.4 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA USOS NÃO POTÁVEIS EM RESIDÊNCIAS

A escassez de água é um problema sério para a humanidade, segundo o Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água, elaborado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2010), se nada for feito, cerca de um terço dos brasileiros enfrentará a falta de água a partir do ano de

2025, por isso, os problemas que acentuam a escassez de água, como as poluições dos mananciais, o crescimento e a má distribuição populacional, o desperdício e os serviços de abastecimento públicos ineficientes, são fatores que representam um problema de saúde pública, limitam o desenvolvimento dos países e têm despertado diversos setores da sociedade para a necessidade da conservação da água. Tem se buscado cada vez mais, alternativas que contribuam para o uso racional e eficiente da água, entre estas alternativas, o aproveitamento da água da chuva.

O aproveitamento da água da chuva é uma alternativa empregada em muitos países e em diversas situações, seja para mitigar a falta de um abastecimento regular de água fornecida pelas concessionárias, por exemplo, em regiões como o semiárido, onde inclusive há um programa desenvolvido pela Articulação Semiárido Brasileiro - ASA, conhecido como Programa Um Milhão de Cisternas - P1MC.

Este programa tem como objetivo melhorar a vida das famílias que vivem nessas regiões, garantindo o acesso à água de qualidade através do armazenamento da água da chuva em cisternas ou para complementar o sistema urbano de abastecimento de água, reduzindo a demanda sobre os mananciais e possibilitando outros usos desses recursos hídricos.

Enfim, há diversos fatores que levam à escolha do sistema de aproveitamento da água da chuva. Por esse motivo, serão abordados nos tópicos seguintes os principais conceitos sobre o aproveitamento da água da chuva para posteriormente verificar se a captação e a utilização das águas pluviais nas residências da cidade de Brasília apresentam-se como uma alternativa viável e eficiente no atendimento das demandas a qual será destinada, evitando assim, a implantação de projetos inadequados.

3.4.1 Histórico do Aproveitamento de Água de Chuva

O aproveitamento da água da chuva tem sido uma prática exercida por diferentes civilizações e culturas ao longo do tempo. Segundo Tomaz (2005), o primeiro registro que se tem de seu uso data de 830 a.C. na pedra Mohabita que foi encontrada na antiga região de Moab, perto de Israel. Relíquia que traz as determinações do rei Mesa, para a cidade de Qarhob, dentre as quais, destaca-se uma inscrição que diz que cada casa deverá ter uma cisterna para seu próprio uso.

Para Dillaha e Zolan (1985 apud GONÇALVES, 2006) relatam a existência de um sistema integrado de manejo de água de chuva há 2.000 anos, no deserto de Negev, atualmente território de Israel.

No período romano, também havia essa prática que foi utilizada em diversas regiões, como na ilha de Sardenha e no norte da África, onde se coletava a água da chuva como fonte de água para beber e para uso doméstico. Na Figura 2 é apresentada a foto do Abanbar, tradicional sistema de captação de água de chuva do Irã, ilustrando esse antigo sistema.

Figura 2 - Abanbar, Tradicional Sistema de Captação de Água Comunitário do Irã.



Fonte: Mcmorrow (2006)

Segundo Gonçalves (2006), estas práticas, pouco a pouco, foram perdendo força, sendo substituídas por novas tecnologias como construções de barragens ou implantação de sistemas de abastecimentos de água mais modernos. Mas, atualmente, com a crise hídrica mundial e a conscientização da população sobre a necessidade da conservação da água, o aproveitamento da água da chuva tornou-se uma das alternativas e passou a fazer parte da gestão urbana dos recursos hídricos de alguns países.

Para Gonçalves (2006), diferentes setores da sociedade passam a ver o aproveitamento da água da chuva como uma alternativa rentável, seja pelo aproveitamento da água, seja pela redução de gasto, bem como pela questão ambiental.

Em muitos países como o Japão, por exemplo, tem se implementado o sistema de aproveitamento da água da chuva em larga escala em várias cidades, devido às condições

climáticas, territorial e de urbanização, onde podemos citar a utilização de tal sistema nos estádios de Tóquio, Nagoya e Fukuoka para usos em vasos sanitários e na rega de plantas (Zaizen et al 1999).

O primeiro relato de aproveitamento da água da chuva no Brasil foi em 1943 na Ilha de Fernando de Noronha, com o sistema construído pelo exército Norte-americano. Atualmente temos alguns centros de pesquisas, ONGs e projetos que envolvem o aproveitamento da água da chuva, além de muitas cidades brasileiras adotarem legislações específicas sobre esse tipo de coleta (GONÇALVES, 2006).

No Brasil, alguns estádios construídos para realização da Copa de 2014 usam também esse sistema, como é o caso do Estádio Nacional Mané Garrincha, situado em Brasília, apresentado na

Figura 3.

Figura 3 - Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva do Estádio Nacional - DF



Fonte: Revista infraestrutura urbana (2015)

Em alguns países existem incentivos financeiros para a construção e instalação de sistemas de coleta e aproveitamento da água da chuva (TOMAZ, 2005), tendo-se adotado legislação específica para tais sistemas.

No Brasil, esse sistema, tem alcançado destaque, como no caso do programa P1MC do Governo Federal. Entretanto, ainda há poucos investimentos nestes sistemas devido à abundância hídrica em algumas regiões do país, sendo outras regiões fortemente atingidas com os problemas de escassez da água como já descritos nos tópicos 3.2 e 3.3.

3.4.2 Normas para o Aproveitamento de Água de Chuva

A NBR 15527/2007 da ABNT é uma norma brasileira que regula e fornece os requisitos para o aproveitamento da água da chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Esta norma recomenda para quais usos podem ser feitos dessa água após tratamento adequado e cita alguns exemplos como: descargas em bacias sanitárias, irrigação, limpezas de veículos, calçadas, pátios e usos industriais.

Na referida norma encontra-se alguns itens que merecem destaque, por serem recomendações importantes para se evitar a contaminação do sistema de água potável pelo sistema da água da chuva.

No Item 4.3.5, a norma recomenda alguns métodos de dimensionamento do volume dos reservatórios (método de Rippl, método da simulação, método Azevedo Neto, método prático alemão, método prático inglês e o método prático australiano) e que o dimensionamento deve levar em conta critérios técnicos, econômicos e ambientais.

No Item 4.3.7, é recomendado que o volume não aproveitável da água da chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado, total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente.

No Item 4.4.2, a norma indica que as tubulações e demais componentes devem ser claramente diferenciados das tubulações de água potável e no Item 4.4.3, o sistema de distribuição de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável, não permitindo a conexão cruzada.

No Item 4.4.4, os pontos de consumo devem ser de uso restrito e identificados e no Item 4.4.5, os reservatórios de distribuição de água potável e não potável devem ser separados.

Em Brasília, para se implantar o sistema de aproveitamento da água da chuva em uma residência, deve-se procurar a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

(CAESB) para apresentar o projeto. Quem optar por utilizar esse sistema para molhar o jardim, lavar as calçadas, não precisa procurar tal órgão (MORTARI, 2013).

A CAESB tem a norma ND. SCO-013 que estabelece os procedimentos de avaliação de projetos e vistorias que preveem o aproveitamento da água pluvial, que atendam os critérios legais e os previstos na norma, a fim de evitar a contaminação da água tratada e por ela distribuída, bem como fixa critérios para o lançamento dos efluentes desses sistemas na rede pública de esgoto.

Ainda existem alguns manuais, dentro dos quais, encontra-se o manual da ANA/FIESP & SindusCon-SP (2005), onde traz a metodologia básica para projeto de sistemas de coleta, tratamento e uso de água da chuva.

3.4.3 Padrão de Qualidade da Água de Chuva para Usos não Potáveis em Residências

A água é considerada como um dos melhores solventes da natureza a ponto de ser conhecida como solvente universal, pois é capaz de dissolver uma infinidade de substâncias e essa característica explica a facilidade da contaminação da água por outras substâncias (ATKINS, 2012), por isso deve-se ter o conhecimento da qualidade da água para se escolher o melhor sistema de tratamento da água da chuva.

Segundo Gonçalves (2006), a qualidade da água da chuva deve ser considerada em três momentos distintos de um sistema de aproveitamento:

1º - A chuva atmosférica:

A qualidade da chuva atmosférica sofre influência de diversos fatores dentro dos quais pode-se destacar:

- A localização geográfica, onde em regiões próximas aos oceanos, a água da chuva apresenta elementos como sódio, potássio, magnésio e cloro; já em regiões distantes da costa com grandes áreas não pavimentadas, estão presentes elementos como sílica, alumínio e ferro, além de componentes de origem mineral, químico, como nitrogênio, fósforo e enxofre; já em regiões urbanas estão presentes elementos como chumbo e zinco;
- A presença de vegetações;

- As condições meteorológicas;
- As estações do ano;
- A presença de carga poluidora, principalmente no ar, devido às atividades desenvolvidas na região onde será implantado o sistema de abastecimento de água da chuva.

De acordo com Gonçalves (2006), principalmente, nas áreas urbanas, deve-se direcionar o uso da água da chuva para fins não potáveis, como lavagem de veículos, lavagem de pisos, descargas de sanitário, rega de jardins e podendo inclusive ser aproveitada nas indústrias.

2º - A chuva após passagem pela área de captação:

Parte da contaminação da água da chuva ocorre nos telhados, sejam pelo material de que são feitos onde se deve utilizar revestimentos que não se decomponha, não retenha a sujeira e não promovam o desenvolvimento de bactérias e parasitas. De acordo com Gonçalves (2006), a literatura recomenda que se deva dar preferência a telhados metálicos, seguidos pelos plásticos, e por último os de cerâmica com relação ao aspecto bacteriológico.

Outros fatores devem ser considerados de acordo com Rebello (2004), como fezes de aves e roedores, artrópodes e outros animais mortos em decomposição, folhas, tintas de telhados, poeira, fibras de amianto, entre outros que contaminam a água por compostos químicos e patogênicos. Por isso, a norma e o bom senso recomendam a eliminação das primeiras águas da chuva, chamada de água de descarte.

3º- A água das chuvas armazenadas nas cisternas ou reservatórios de armazenamento:

Com o tempo, partículas que passaram pelo processo de tratamento se sedimentam nos reservatórios; por isso, recomenda-se que os reservatórios devam ser limpos e desinfetados com solução de hipoclorito de sódio, no mínimo uma vez por ano, de acordo com a NBR 5626 da ABNT.

Ao se projetar um sistema de aproveitamento da água da chuva o projetista deve inicialmente definir a sua finalidade, isto é, se será utilizado para fins potáveis ou não; pois, para que se possa fazer o aproveitamento seguro da água da chuva, é necessário estabelecer os padrões de qualidade da água de acordo com esses usos.

Para usos mais restritivos, conforme a norma NBR 15527/2007 da ABNT deve ser utilizada a Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros de Qualidade de Água de Chuva para Usos Restritivos não Potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente	Mensal	< 15 uH
Ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Fonte: ABNT (2007)

3.4.4 Funcionamento do Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva

Para se compreender melhor o funcionamento do sistema de aproveitamento da água da chuva será apresentado primeiramente os principais componentes desse sistema.

Segundo Gonçalves (2006), o sistema de aproveitamento da água da chuva, independentemente de ser pequeno ou grande, é composto basicamente pelos seguintes componentes: área de captação/telhado; tubulações para condução da água; telas ou grades para a remoção de materiais grosseiros, como folhas e galhos; reservatório de armazenamento/cisterna; extravasor; e, dependendo do uso que será dado à água, pode ser incluído no sistema o componente de tratamento da água (filtração e desinfecção).

- Área de captação/telhado: geralmente é feita pelos telhados, pode ser feita também através da superfície do solo. No entanto, a água coletada pelo telhado é mais simples e quase sempre produz uma água de melhor qualidade. Segundo Gonçalves (2006), o tipo de revestimento do telhado também pode influir no sistema de aproveitamento da água da chuva, devendo-se dar preferência para os de menor absorção de água, ou seja, as telhas que tenham um coeficiente de escoamento (C) maior, para minimizar as perdas e também aqueles que não promovem o desenvolvimento de matéria orgânica em sua superfície.
- Tubulações para condução da água: são as calhas coletoras e os condutores horizontais e verticais que servem para o direcionamento da água da chuva do telhado ao reservatório, geralmente são fabricados em PVC ou em materiais metálicos. É

necessário um dimensionamento adequado e uma boa instalação para o funcionamento correto de todo o sistema. Deve-se utilizar à ABNT NBR 10.844/89 como material de referência para o dimensionamento desses componentes.

- Telas ou grades para a remoção de materiais grosseiros: A norma ABNT NBR 12213/1992 recomenda que independentemente do sistema adotado para a coleta da água da chuva, deve-se adotar dispositivos de remoção de detritos a fim de se evitar a entrada de folhas, gravetos ou outros materiais no interior do reservatório e tubulações que possam prejudicar a qualidade da água armazenada. Estes dispositivos podem ser, por exemplo, grades e telas, desde que atendam a norma.

Segundo Gonçalves (2006), a primeira chuva ou chuva inicial é a mais poluída, por lavar a atmosfera e a superfície de captação, por isso recomenda-se que água da chuva inicial seja desviada do reservatório de forma manual ou através de dispositivos de descartes automáticos. A norma ABNT NBR 15527/2007 recomenda que tal dispositivo seja automático. Conforme o Manual da ANA/FIESP & SindusCon-SP (2005), os volumes descartados são determinados em função da qualidade da água durante as fases iniciais de precipitação, que ocorrem após diferentes períodos de estiagem. Na falta de dados, a norma recomenda o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

- Reservatório de armazenamento/cisterna: é onde se armazena a água da chuva. Os reservatórios ou cisternas podem ser apoiados no solo, enterrados, semienterrados ou elevados; ser construídos de diferentes materiais, como fibra de vidro, polietileno, concreto armado entre outros. Dependendo dessa escolha pode ser necessário o uso de bombas para conduzir a água para seu destino final.

Para Gonçalves (2006), a escolha do local de instalação do reservatório, o modelo e o material a ser utilizado, devem ser considerados; ou seja, deve-se levar em consideração as condições do terreno e de disponibilidade de área.

De acordo com o mencionado autor (2006, p.110), deve-se ter alguns cuidados em relação ao reservatório, visando a sua manutenção e a garantia da qualidade da água, tais como: fazer a impermeabilização das paredes e da cobertura para se evitar os vazamentos e contaminações; evitar a entrada de luz no reservatório para não haver a proliferação de algas; proteger a entrada da água no reservatório e no extravasor com telas para que não entre insetos e pequenos animais; fazer uma abertura no reservatório para inspeção e limpeza; utilizar "freios

d'água" na entrada do reservatório, com o objetivo de se evitar a suspensão dos sólidos sedimentados no fundo do mesmo.

As recomendações anteriores estão de acordo com a norma ABNT NBR 15527/2007. A norma recomenda que se deva retirar a água do reservatório a 15 cm da superfície para minimizar o arraste de materiais sedimentados acumulados. É aconselhado que o reservatório esteja distante de 10 a 15m de instalações com risco de contaminação, como fossas sépticas (GHANAYER, 2001).

- Extravisor ou ladrão: é uma canalização destinada a escoar eventuais excessos de água dos reservatórios.
- Tratamento da água (filtração e desinfecção): é uma etapa importante, pois, algumas substâncias ainda permanecem após o descarte da primeira chuva. De acordo com o Manual da ANA/FIESP & SindusCon (2005), são empregados sistemas de tratamento compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou com radiação ultravioleta. Eventualmente, pode-se utilizar sistemas mais complexos que proporcionem níveis de qualidade mais elevados.

A Tabela 5 apresenta as diferentes qualidades de água para as diferentes aplicações enquanto que a Tabela 6 apresenta as diferentes técnicas de tratamento da água da chuva em função da localização.

Tabela 5 - Diferentes Qualidade de Água para Diferentes Aplicações

Uso requerido pela água	Tratamento necessário
Irrigação de jardins	Nenhum tratamento
Prevenção de incêndio, condicionamento de ar	Cuidados para manter o equipamento de estocagem e distribuição em condições de uso
Fontes e lagoas, descargas de banheiros, lavação de roupas e lavação de carros	Tratamento higiênico, devido o possível contato do corpo humano com a água
Piscina/banho, consumo humano e no preparo de alimentos	Desinfecção, para a água ser consumida direta ou indiretamente

Fonte: Group Raindrops (1995)

Tabela 6 - Técnicas de Tratamento da Água da Chuva em Função da Localização.

Técnicas de tratamento		
Método	Local	Resultado
Telas e grades	Calhas e tubo de queda	Previne entrada de folhas e galhos no sistema
Sedimentação	No reservatório	Sedimenta matéria particulada
Filtração Na linha de água Carvão ativado Osmose reversa Camadas mistas Filtro lento	Após bombeamento Na torneira Na torneira Tanque separado Tanque separado	Filtra sedimentos Remove cloro Removem contaminantes Captura material particulado Captura material particulado
Desinfecção Fervura/destilação Tratamento químico (cloro ou iodo) Radiação ultravioleta Ozonização	Antes do uso no reservatório ou no bombeamento (líquido tablete/pastilha ou granulado) Sistemas de luz ultravioleta devem estar localizados após passagem por filtro Antes da torneira	Inativação dos microrganismos

Fonte: Texas Guide to Rainwater Harvesting (1997)

Na

Figura 4 - Funcionamento do Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva em uma Residência



Fonte: G1, Reprodução (2016)

Na Figura 5 tem-se uma vista da cisterna em corte com todos os equipamentos necessários para o bom funcionamento do sistema. A água ao ser captada no telhado é conduzida pelas calhas e canos, passando por um dispositivo de descarte da primeira chuva, onde ocorre o descarte de impurezas e sólidos indesejáveis provenientes do telhado e da chuva. Após passar por esse dispositivo, a água é conduzida até o filtro (4) que pode ser instalado na entrada ou no interior da cisterna, dependendo do modelo escolhido, onde ocorre a primeira etapa do processo que é a filtração. Após a filtração, a água é direcionada para o dispositivo de frenagem "freio d'água" (1) que é responsável por diminuir a velocidade de entrada da água na cisterna fazendo com que as micropartículas que passaram pelo filtro decantem no fundo da cisterna mantendo a água limpa na superfície. Para impedir que a cisterna transborde, é instalado um extravasor ou ladrão (3) que tem a função também de impedir a entrada de pequenos animais dentro do reservatório. Para a manutenção da cisterna tem-se a tampa de inspeção (5).

Por último, é instalado no interior da cisterna um conjunto flutuante (2) com objetivo de somente a água da superfície da cisterna mais limpa ser enviada para a bomba d'água que posteriormente será enviado para caixa d'água exclusiva, distinta do reservatório de água potável, para uso final. Dependendo do uso destinado da água coletada pode ser necessário instalar uma bomba dosadora de cloro junto ao reservatório para a desinfecção.

são ilustradas as etapas básicas do funcionamento do sistema de aproveitamento da água da chuva em uma residência.

Figura 4 - Funcionamento do Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva em uma Residência



Fonte: G1, Reprodução (2016)

Na Figura 5 tem-se uma vista da cisterna em corte com todos os equipamentos necessários para o bom funcionamento do sistema. A água ao ser captada no telhado é conduzida pelas calhas e canos, passando por um dispositivo de descarte da primeira chuva, onde ocorre o descarte de impurezas e sólidos indesejáveis provenientes do telhado e da chuva. Após passar por esse dispositivo, a água é conduzida até o filtro (4) que pode ser instalado na entrada ou no interior da cisterna, dependendo do modelo escolhido, onde ocorre a primeira etapa do processo que é a filtração. Após a filtração, a água é direcionada para o dispositivo de frenagem "freio d'água" (1) que é responsável por diminuir a velocidade de entrada da água na cisterna fazendo com que as micropartículas que passaram pelo filtro decantem no fundo da cisterna mantendo a água limpa na superfície. Para impedir que a cisterna transborde, é instalado um extravasor ou ladrão (3) que tem a função também de impedir a entrada de pequenos animais dentro do reservatório. Para a manutenção da cisterna tem-se a tampa de inspeção (5).

Por último, é instalado no interior da cisterna um conjunto flutuante (2) com objetivo de somente a água da superfície da cisterna mais limpa ser enviada para a bomba d'água que posteriormente será enviado para caixa d'água exclusiva, distinta do reservatório de água

potável, para uso final. Dependendo do uso destinado da água coletada pode ser necessário instalar uma bomba dosadora de cloro junto ao reservatório para a desinfecção.

Figura 5 - Vista da Cisterna em Corte com os Equipamentos



Fonte: G1, Reprodução (2016) (adaptado)

Para que não ocorra a falta de água nas torneiras, vasos sanitários, entre outros, decorrente de estiagens prolongadas ou consumo acima da capacidade de captação, deve-se alimentar o reservatório com a água fornecida pelas concessionárias. Nesse caso, é necessário

o uso de uma válvula solenoide, responsável por permitir a entrada de água da rede pública na cisterna e evitar a contaminação da rede de água potável durante a realimentação.

A manutenção do sistema é muito importante para se manter o bom funcionamento e a qualidade da água captada. Segundo a norma deve-se realizar a manutenção em todo o sistema de aproveitamento da água da chuva, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7- Frequência de Manutenção

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Fonte: ABNT (2007)

Ainda de acordo com a norma quando forem utilizados produtos potencialmente nocivos à saúde humana na área de captação, o sistema deve ser desconectado, impedindo a entrada desses produtos no reservatório da água da chuva e a reconexão deve ser feita somente após a lavagem adequada, isto é, quando não houver mais risco de contaminação pelos produtos utilizados.

3.4.5 Métodos de Dimensionamento de Reservatórios (Cisternas)

O dimensionamento do reservatório é uma das etapas mais importantes para o sucesso ou fracasso de um sistema de aproveitamento da água da chuva, juntamente com a quantidade de água captável pelo sistema, pois a eficiência e a confiabilidade do sistema estão ligadas diretamente a esse dimensionamento. Analisando o custo do reservatório, segundo Thomas (2004), corresponde de 50% a 85% do custo total do sistema, podendo em alguns casos tornar sua implantação inviável.

Segundo Gonçalves (2006), a eficiência está relacionada com a melhor combinação do volume de reservação e da demanda a ser atendida, enquanto que a confiabilidade do sistema está relacionada com a margem de segurança que não leve a super ou subdimensionamento do sistema.

Alguns modelos são utilizados para o dimensionamento do reservatório, os quais levam em consideração, na maioria das vezes, o regime de precipitação local, como os dias de estiagem, as séries históricas ou sintéticas de chuva, a demanda específica que se deseja atender, a área de captação da água da chuva e a eficiência requerida.

Nem sempre a chuva será suficiente para atender a demanda. Também o contrário pode acontecer, nem sempre será possível armazenar toda chuva, por isso esses estudos de dimensionamento devem compatibilizar produção e demanda, identificando o percentual de demanda possível de ser atendida em cada sistema, de maneira a tornar o mesmo mais eficiente e com menor gasto possível. (GONÇALVES, 2006, p.115)

A norma NBR 15527/2007 da ABNT recomenda, a critério do projetista, ser utilizados os seguintes métodos: método de Rippl, método da simulação, método Azevedo Neto, método prático alemão, método prático inglês e método prático australiano.

As informações referentes aos métodos foram obtidas na NBR 15527/2007 da ABNT e apresentadas a seguir.

Quadro 1- Métodos Propostos pela Norma NBR 15527/2007 para Dimensionamento do Volume do Reservatório

<p>Método de Rippl - Podem ser usadas as séries históricas mensais ou diárias.</p> $S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)}$ $Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação}$ $V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0$ <p>Sendo que: $\sum S_{(t)} < \sum Q_{(t)}$</p> <p>Onde:</p> <p>$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t;</p> <p>$Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t;</p> <p>$D_{(t)}$ é a demanda ou consumo no tempo t;</p> <p>V é o volume do reservatório;</p> <p>C é o coeficiente de escoamento superficial.</p>	<p>Método da simulação - A evaporação da água não deve ser levada em conta. Para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito:</p> $S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)}$ $Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação}$ <p>Sendo que: $0 \leq S_{(t)} \leq V$</p> <p>Onde:</p> <p>$S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t;</p> <p>$S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t-1;</p> <p>$Q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t;</p> <p>$D_{(t)}$ é o consumo ou demanda no tempo t;</p> <p>V é o volume do reservatório fixado;</p> <p>C é o coeficiente de escoamento superficial.</p> <p>Para este método, duas hipóteses devem ser feitas, o reservatório está cheio no início da contagem do tempo t, os dados históricos são representativos para as condições futuras.</p>	<p>Método prático inglês</p> $V = 0,05 \times P \times A$ <p>Onde:</p> <p>P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);</p> <p>A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);</p> <p>V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L).</p>
---	--	--

Fonte: ABNT (2007) (adaptado)

Quadro 2- Métodos Propostos pela Norma NBR 15527/2007 para Dimensionamento do Volume do Reservatório

<p>Método Azevedo Neto</p> $V = 0,042 \times P \times A \times T$ <p>Onde:</p> <p>P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);</p> <p>T é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;</p> <p>A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);</p> <p>V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).</p> <p>.....</p> <p>Nota 1: O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.</p> <p>Nota 2: Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio.</p> <p>Nota 3: Confiança=(1-P_r) .Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90 e 99.</p>	<p>Método prático alemão - método empírico onde se toma o menor valor do volume do reservatório; 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável</p> $V_{\text{adotado}} = \min(V; D) \times 0,06$ <p>Onde:</p> <p>V é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L);</p> <p>D é o valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);</p> <p>V_{adotado} é o valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L).</p>	<p>Método prático australiano</p> $Q = A \times C \times (P - I)$ <p>Onde:</p> <p>C é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;</p> <p>P é a precipitação média mensal;</p> <p>I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2mm;</p> <p>A é a área de coleta;</p> <p>Q é o volume mensal produzido pela chuva.</p> $V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}$ <p>Onde:</p> <p>Q_(t) é o volume mensal produzido pela chuva no mês t;</p> <p>V_(t) é o volume de água que está no tanque no fim do mês t;</p> <p>V_(t-1) é o volume de água que está no tanque no início do mês t-1;</p> <p>D_(t) é a demanda mensal;</p> <p>Quando $(V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D) < 0$, então o $V_{(t)} = 0$</p> <p>Confiança:</p> $P_r = N_r / N$ <p>Onde:</p> <p>P_r é a falha;</p> <p>N_r é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_{(t)} = 0$;</p> <p>Ver notas 1, 2 e 3.</p>
--	---	--

Fonte: ABNT (2007) (adaptado)

4 METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em livros, artigos técnicos, monografias, normas da ABNT e sites da internet especializados no sistema de aproveitamento da água da chuva. Foi realizado um levantamento dos dados e temas mais importantes para o entendimento do assunto.

Neste estudo de caso foram definidos três padrões socioeconômicos de residências em Brasília: um padrão popular, um padrão médio e um padrão alto, onde se buscou atender as demandas hídricas nessas residências, excetuando-se as demandas potáveis, ou seja, as torneiras internas, os chuveiros e os bebedouros da casa.

Os padrões socioeconômicos em Brasília foram definidos de acordo com o artigo "Estudo da viabilidade econômica da captação de água de chuva em residências da cidade de João Pessoa" dos autores Júnior, Dias e Gadelha (2007) e adaptados com base no modelo de dimensionamento apresentado no livro "Uso Racional da Água em Edificações" de Gonçalves (2006).

Fazendo uma adaptação dos estudos relacionados acima, foram adotadas as seguintes características para cada padrão de residência:

- Residência de padrão popular: população de 4 habitantes, 1 banheiro, área de jardim de 12m², área impermeável de 6m², área do telhado de 72m², coeficiente de escoamento 0,8.
- Residência de padrão médio: população de 5 habitantes, 2 banheiros, área de jardim de 40m², área impermeável de 20m², área do telhado de 150m², coeficiente de escoamento 0,8.
- Residência de padrão alto: população de 6 habitantes, 6 banheiros, área de jardim de 400m², área impermeável de 200m², área do telhado de 350m², coeficiente de escoamento 0,8.

Para os cálculos foram adotados para os padrão popular, médio e alto, respectivamente os seguintes valores: 1 carro, 2 carros e 3 carros e o coeficiente de carga adotado foi de 0,12.

Para o dimensionamento dos reservatórios foram utilizados os métodos propostos pela NBR 15527/2007 da ABNT e foi feita uma comparação dos resultados obtidos em cada um deles com exceção do método de simulação que não foi calculado, uma vez que o método australiano é bem semelhante àquele e este considera as perdas por evaporação e considera para o primeiro mês um reservatório vazio, ou seja, o pior caso.

Para realização dos cálculos, foi utilizada uma série de dados de precipitação da estação ETE NORTE, obtidos da ANA, que abrange dados do período de 1971 a 2016.

Com todas as informações, procedeu-se o levantamento dos materiais e do custo de implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva, que são os condutos verticais e horizontais, o filtro, o dispositivo de descarte, o reservatório, a bomba, o sistema de cloração e a mão de obra. Como mostrado na Figura 6.

Figura 6- Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva



Fonte: Soluções Sustentáveis (2016)

Finalmente, foi apresentado o potencial de economia de água e de recursos financeiros através da implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em residências na cidade de Brasília em relação ao sistema de abastecimento de água, fornecido pela CAESB.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para a verificação da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis, para os três padrões de residências na cidade de Brasília, foi desenvolvido um estudo que compreende as seguintes etapas:

- Cálculos das demandas não potáveis;
- Levantamento dos dados pluviométricos da região;
- Estimativas das produções da água da chuva;
- Cálculo do descarte da água de lavagem do telhado;
- Cálculo do volume do reservatório com base nos métodos previstos pela norma 15527/2007 da ABNT;
- Cálculo da eficiência do sistema de aproveitamento;
- Levantamento dos materiais e custo de implantação; e
- Análise e comparação da viabilidade técnica e econômica dos sistemas.

5.2 ESTIMATIVAS DAS DEMANDAS NÃO POTÁVEIS

É necessário conhecer as estimativas das demandas não potáveis numa residência, tanto internas quanto externas, pois, é através dessas estimativas que se pode analisar a eficiência do aproveitamento da água da chuva e proceder com os cálculos do dimensionamento dos reservatórios.

Na demanda interna, deverá ser considerada a utilização de água nos equipamentos dentro da residência onde poderá substituir a água potável pela água do sistema de aproveitamento da água da chuva. Neste estudo, foi considerado como demanda interna, somente o uso da água em vasos sanitários e máquinas de lavar roupa.

As demandas externas são aquelas onde se pode utilizar a água da chuva para as áreas como jardins, áreas impermeabilizadas (pisos e calçadas), dentre outros. Neste trabalho, foi

considerado como demanda externa o uso da água para a rega de jardim, para lavagem das áreas impermeabilizadas e lavagem de carros.

Para o cálculo das demandas não potáveis, utiliza-se a seguinte equação:

$$Q_{NP} = Q_{INT} + Q_{EXT} \text{ (eq.1)}$$

Onde: Q_{NP} é o somatório das demandas não potáveis (L/d); Q_{INT} é o somatório das demandas internas (L/d); Q_{EXT} é o somatório das demandas externas (L/d).

Segundo Tomaz (2000), os valores mais usuais, elaborados a partir de informações disponibilizadas na literatura, da demanda residencial não potável podem ser obtidos na Tabela 8.

Tabela 8 - Demanda Residencial Não Potável

Demanda Interna	Faixa	Unidade
Vaso Sanitário – Volume	6 a 15	L/descarga
Vaso Sanitário – Frequência	4 a 6	Descarga/hab/dia
Máquina de Lavar Roupa - Volume	100 a 200	L/ciclo
Máquina de Lavar Roupa - Frequência	0,2 a 0,3	Carga/hab/dia
Demanda Externa	Faixa	Unidade
Rega de Jardim – Volume	2	L/dia/m ²
Rega de Jardim – Frequência	8 a 12	Lavagem/mês
Lavagem de Carro – Volume	80 a 150	L/lavagem/carro
Lavagem de Carro - Frequência	1 a 4	Lavagem/mês
Lavagem da Área Impermeável - Volume	2 a 4	L/dia/m ²
Lavagem da Área Impermeável - Frequência	4 a 12	Lavagem/mês

Fonte: Tomaz (2000) (adaptado)

Residência de padrão popular: Apresenta as seguintes características:

Tabela 9 - Características da Residência Popular

Número de habitantes	4
Número de banheiros	1
Área de jardim	12 m ²
Área impermeável	6 m ²
Área do telhado	72 m ²
Coeficiente de escoamento*	0,8
Precipitação anual Brasília (INMET/2014)	1540,5

Fonte: Do Autor

De acordo com Tomaz (2003), o melhor valor a ser adotado como coeficiente de escoamento superficial para o Brasil é $C = 0,80$, o que significa uma perda de 20% de toda água precipitada.

Para o cálculo das demandas não potáveis, utiliza-se a equação 1 e os seguintes valores:

Tabela 10 – Valores adotados para os Cálculos das Demandas da Residência de Padrão Popular

Vaso sanitário	8	L/descarga
	5	Descargas/hab/dia
	Perdas por vazamento de 10%	1,1
Máquina de lavar roupa	150	L/ciclo
	0,3	Carga/hab/dia
Rega de jardim	2	L/dia/m ²
	8	Lavagem/mês
Lavagem da área impermeabilizada	4	L/dia/m ²
	8	Lavagem/mês
Lavagem de carro	80	L/lavagem/carro
	2	Lavagem/mês

Fonte: Do Autor

Cálculo das demandas internas:

$$Q_{INT} = Q_{VS} + Q_{ML}$$

Onde: Q_{INT} é o somatório as demandas internas (L/d); $Q_{VS} = N \times \text{vol. de água do vaso sanitário} \times \text{n}^{\circ} \text{ de descargas (L/d)}$; $Q_{ML} = N \times \text{vol. de água da máquina} \times \text{frequência de lavagem} \times \text{coeficiente de carga (L/d)}$; N é o número de habitantes.

Portanto, tem-se:

$$Q_{VS} = 176 \text{ L/d}$$

$$Q_{ML} = 21 \text{ L/d}$$

$$Q_{INT} = 197 \text{ L/d}$$

$$\therefore Q_{INT} = 5,92 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Cálculo das demandas externas:

$$Q_{EXT} = Q_{JD} + Q_{AI} + Q_{LC}$$

Onde: Q_{EXT} é o somatório das demandas externas (L/d); Q_{JD} = área do jardim x volume de água x frequência de uso (L/d); Q_{AI} = área impermeável x volume de água x frequência de uso (L/d); Q_{LC} = volume de água x n°. de carros x frequência de lavagem (L/d).

Portanto, tem-se:

$$Q_{JD} = 6,4 \text{ L/d}$$

$$Q_{AI} = 6,4 \text{ L/d}$$

$$Q_{LC} = 5,3 \text{ L/d}$$

$$Q_{EXT} = 18,1 \text{ L/d}$$

$$\therefore Q_{EXT} = 0,54 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Logo, a demanda não potável total (equação 1) da residência popular será: **$Q_{NP} = 6,46 \text{ m}^3/\text{mês}$** .

De maneira análoga, obtêm-se as demandas não potáveis das demais residências.

Residência de padrão médio: Adotaram-se os seguintes dados para o cálculo das demandas não potáveis:

Tabela 11 - Valores Adotados para os Cálculos das Demandas da Residência de Padrão Médio

Vaso sanitário	8	L/descarga
	5	Descargas/hab/dia
	Perdas por vazamento de 10%	1,1
Máquina de lavar roupa	200	L/ciclo
	0,3	Carga/hab/dia
Rega de jardim	2	L/dia/m ²
	8	Lavagem/mês
Lavagem da área impermeabilizada	4	L/dia/m ²
	8	Lavagem/mês
Lavagem de carro	100	L/lavagem/carro
	2	Lavagem/mês

Fonte: Do Autor

Obtendo-se os seguintes resultados:

$$Q_{INT} = 7,66 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$Q_{EXT} = 1,68 \text{ m}^3/\text{mês}$$

A demanda não potável total da residência de padrão médio será **$Q_{NP} = 9,34 \text{ m}^3/\text{mês}$** .

Residência de alto padrão: Adotaram-se os seguintes dados para o cálculo das demandas não potáveis.

Tabela 12 - Valores adotados para os Cálculos das Demandas da Residência de Alto Padrão

Vaso sanitário	8	L/descarga
	5	Descargas/hab/dia
	Perdas por vazamento de 10%	1,1
Máquina de lavar roupa	200	L/ciclo
	0,3	Carga/hab/dia
Rega de jardim	2	L/dia/m ²
	12	Lavagem/mês
Lavagem da área impermeabilizada	4	L/dia/m ²
	8	Lavagem/mês
Lavagem de carro	100	L/lavagem/carro
	2	Lavagem/mês

Fonte: Do Autor

Obtendo-se os seguintes resultados:

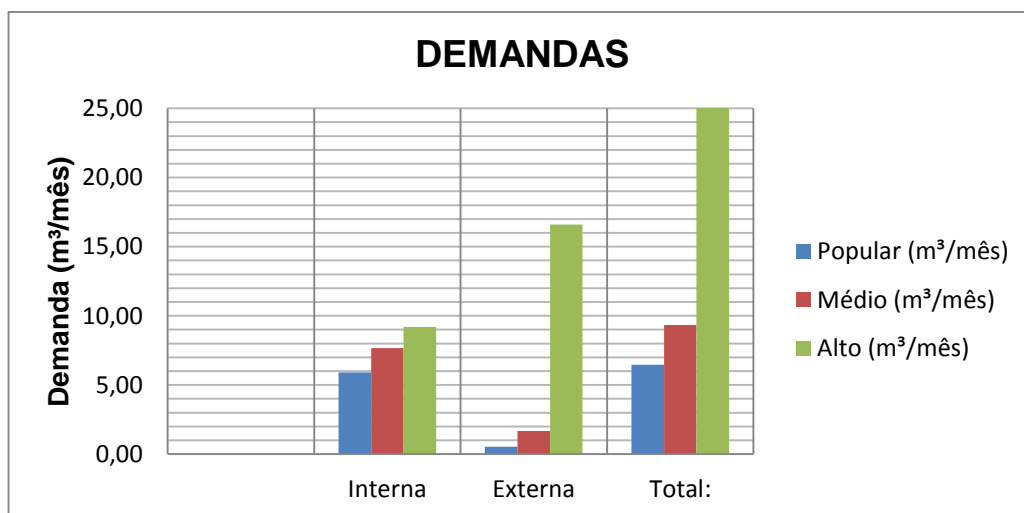
$$Q_{INT} = 9,19 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$Q_{EXT} = 16,60 \text{ m}^3/\text{mês}$$

A demanda não potável total da residência de alto padrão será **$Q_{NP} = 25,79 \text{ m}^3/\text{mês}$** .

O Gráfico 1 apresenta a comparação entre as demandas internas e externas dos padrões popular, médio e alto.

Gráfico 1- Demandas Não Potáveis



Fonte: Do Autor

Pode-se observar que as demandas internas têm um grande impacto sobre as demandas residenciais. A área de jardim bem como as áreas impermeáveis foram responsáveis em elevar a demanda externa das residências de alto padrão.

5.3 LEVANTAMENTO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA REGIÃO

O dimensionamento do reservatório a ser utilizado é baseado no método da seca máxima do ano e consideram-se as demandas não potáveis que serão atendidas na residência, além de dados referentes aos índices pluviométricos da região, como a precipitação anual e mensal e o número de dias sem chuvas, por isso a importância do levantamento desses dados. (Gonçalves, 2006)

Devido às características climáticas de Brasília ser bem definidas: clima seco de abril a setembro e chuvoso de outubro a março como se pode observar da Tabela 13, e também pelos dados das estações espalhadas na cidade não variarem muito entre elas, optou-se em adotar os dados da estação pluviométrica da ETE NORTE, por ela apresentar todos os dados necessários. Algumas informações da estação adotada podem ser observadas na Tabela 14.

Tabela 13- Alguns Dados Climáticos de Brasília

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Precipitação (mm)	247,4	217,5	180,6	123,8	38,6	8,7	11,1	13,9	55,2	166,6	231,1	246	1540,5
Dias com precipitação (≥ 1 mm)	17	14	13	9	3	1	1	1	5	13	16	18	111
Umidade relativa (%)	76	77	76	75	68	61	56	49	53	66	75	79	67,6
Horas de Sol	154,4	157,5	180,9	201,1	234,3	253,4	266,5	262,9	203,2	168,2	142,5	138,1	2363

Fonte: INMET (2014) (adaptado)

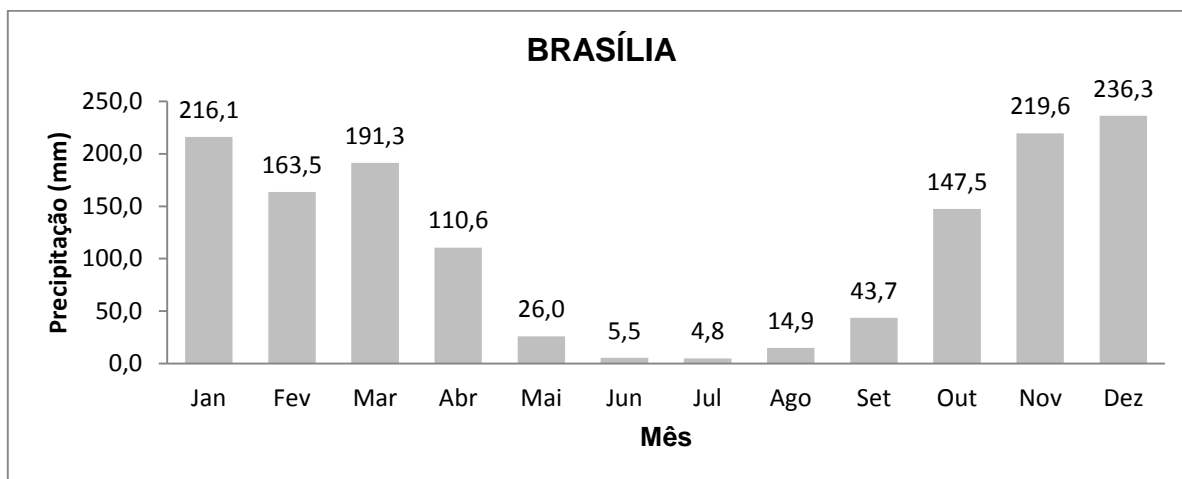
Tabela 14- Dados da Estação ETE NORTE

ETE NORTE	
Código Pluviométrico da Estação:	1547009
Entidade Responsável:	CAESB
Entidade Operadora:	CAESB
Estado:	DF
Município:	BRASÍLIA
Bacia:	RIO PARANÁ
Sub-bacia:	RIO PARANAÍBA
Latitude:	15°44'43.0"S
Longitude:	47°52'41.8"W
Área de Drenagem:	—

Fonte: ANA (2016) (adaptado)

Para realizar a análise dos dados pluviométricos fez-se necessário o levantamento da série histórica de chuvas da região. Foram utilizados dados de 1971 a 2016, o que possibilitou a plotagem do Gráfico 2.

Gráfico 2- Precipitação Média Mensal (1971- 2016) em Brasília



Fonte: Do Autor

Pode-se ver claramente do Gráfico 2 que Brasília apresenta duas estações bem definidas um período chuvoso enquanto outro período de bastante seca o que nos indica que nesses períodos de escassez hídrica se faz necessário o uso complementar da rede da CAESB.

Com base nos dados pluviométricos da estação e do Gráfico acima, foi obtida a média mensal de chuvas dos anos de 1971 a 2016 e a média anual de chuvas, excetuando-se os anos de 1997 e 1998 devido a inconsistências. Ainda com base nos dados das séries históricas da estação escolhida (em anexo) verificou-se que o tempo máximo que a estação ficou sem registrar chuva foi nos anos de 2007 e 2010 com 130 dias consecutivos.

5.4 ESTIMATIVAS DAS PRODUÇÕES DA ÁGUA DA CHUVA

Após a determinação das demandas não potáveis, é necessário fazer a estimativa do volume da água da chuva aproveitável nas residências, a partir dos dados relativos aos índices pluviométricos da região, às áreas de captação (telhados), ao coeficiente de escoamento superficial e à eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial.

Para essa estimativa, a norma NBR 15527/2007 recomenda a seguinte equação:

$$V = P \times A \times C \times n_{\text{fator de captação}}$$

Onde:

V é o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável (m³);

P é a precipitação média anual, mensal ou diária (mm);

A é a área de coleta (m²);

C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

n_{fator de captação} é a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

Residência de padrão popular

A residência popular tem as seguintes características: área de telhado é 72 m², o coeficiente de escoamento superficial da cobertura adotado é 0,8 e seja a eficiência do sistema de 100%.

Portanto, tem-se para Janeiro:

P = 216,1 mm;

A = 72 m²;

C = 0,8;

n_{fator de captação} = 100%

∴ **V = 12,45 m³**

Na Tabela 15 foram apresentados os resultados do volume estimado de chuva mensal para os demais meses da residência de padrão popular.

Tabela 15 - Volume Estimado de Chuva Mensal para Residência de Padrão Popular

Mês	Chuva Média Mensal (mm)	Área de captação (m ²)	Volume de Chuva Mensal (m ³)
Janeiro	216,1	72,0	12,45
Fevereiro	163,5	72,0	9,42
Março	191,3	72,0	11,02
Abril	110,6	72,0	6,37
Maio	26,0	72,0	1,50
Junho	5,5	72,0	0,32
Julho	4,8	72,0	0,28
Agosto	14,9	72,0	0,86
Setembro	43,7	72,0	2,51
Outubro	147,5	72,0	8,49
Novembro	219,6	72,0	12,65
Dezembro	236,3	72,0	13,61
Total:	1380,1	72,0	79,50

Fonte: Do Autor

De maneira análoga, obtêm-se os volumes estimados de água da chuva captada para os demais meses e para os demais padrões de residências, resumidos na Tabela 16.

Tabela 16- Volume Estimado de Chuva Mensal para os Três Padrões de Residência

Mês	Volume de Chuva Mensal (m³)		
	Popular	Médio	Alto
Janeiro	12,45	25,94	60,52
Fevereiro	9,42	19,62	45,78
Março	11,02	22,96	53,58
Abril	6,37	13,27	30,97
Maio	1,50	3,12	7,29
Junho	0,32	0,66	1,55
Julho	0,28	0,58	1,35
Agosto	0,86	1,79	4,17
Setembro	2,51	5,24	12,22
Outubro	8,49	17,70	41,29
Novembro	12,65	26,35	61,48
Dezembro	13,61	28,36	66,17
Total:	79,50	165,62	386,44

Fonte: Do Autor

5.5 DESCARTE DA ÁGUA DE LAVAGEM DO TELHADO

A norma recomenda, na falta de dados, o descarte de 2 mm da precipitação inicial, no entanto foi considerado o descarte de água na razão de 1L/m² de telhado com base no livro "Uso Racional da Água em Edificação" (Gonçalves, 2006).

Obtêm-se os valores do descarte da água de lavagem, multiplicando a área do telhado com a taxa de descarte. Têm-se os seguintes resultados na Tabela 17.

Tabela 17 - Volume a ser Descartado da Água de Lavagem do Telhado

Padrão Popular	
72	L
0,07	m³
Padrão Médio	
150	L
0,15	m³
Padrão Alto	
350	L
0,35	m³

Fonte: Do Autor

5.6 VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

Para o estudo de caso foi utilizado inicialmente o primeiro método recomendado pela norma NBR 15527/2007, isto é, o método de Rippl, para a verificação do dimensionamento do reservatório da água da chuva.

Residência de padrão popular

- **Verificação pelo Método de Rippl**

Para o dimensionamento do reservatório, utilizando o método de Rippl, será considerada a demanda mensal de 6,46 m³ de água captada para suprir as demandas definidas no item 5.2. Para este método foi usado a Tabela 18:

Tabela 18- Dimensionamento do Reservatório pelo Método de Rippl para Residência Popular

Método de Rippl	Demanda Mensal (m³)	Volume de Chuva Mensal Aproveitável (m³)	Diferença entre os Volumes da Demanda e de Chuva (m³)	Volume do Reservatório (m³)
Mês	D(t)	Q(t)	S(t)= D(t)-Q(t)	$V=\sum S(t), p/S(t)>0$
Janeiro	6,46	12,45	-5,99	—
Fevereiro	6,46	9,42	-2,96	—
Março	6,46	11,02	-4,56	—
Abril	6,46	6,37	0,09	0,09
Maio	6,46	1,50	4,96	5,05
Junho	6,46	0,32	6,14	11,19
Julho	6,46	0,28	6,18	17,37
Agosto	6,46	0,86	5,60	22,97
Setembro	6,46	2,51	3,94	26,91
Outubro	6,46	8,49	-2,03	—
Novembro	6,46	12,65	-6,19	—
Dezembro	6,46	13,61	-7,15	—
Total	77,51	79,50		26,91

Fonte: Do Autor

Verificou-se que pelo método de Rippl o volume encontrado para o reservatório é muito alto, cerca de **26,91m³**.

- **Verificação pelo Método Azevedo Neto**

O volume do reservatório é obtido através da seguinte equação:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \text{ (Litros)}$$

Substituindo os dados na equação acima, obtêm-se:

$$V = 0,042 \times 1379,9 \times 72 \times 4$$

$$V = 16691,3 \text{ L}$$

$$\therefore V = 16,69 \text{ m}^3.$$

- **Verificação pelo Método Prático Alemão**

Trata-se de um método empírico onde o volume do reservatório é o menor valor entre 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \text{ (Litros)}$$

Substituindo os dados na equação acima, obtêm-se:

$$V_{\text{adotado}} = 77512 \times 0,06$$

$$V_{\text{adotado}} = 4651 \text{ L}$$

$$\therefore V_{\text{adotado}} = 4,65 \text{ m}^3.$$

- **Verificação pelo Método Prático Inglês**

O volume do reservatório é o volume numérico do volume de água aproveitável obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,05 \times P \times A \text{ (Litros)}$$

Substituindo os dados na equação acima, obtêm-se:

$$V = 0,05 \times 1379,9 \times 72$$

$$V = 4968 \text{ L}$$

$$\therefore V = 4,97 \text{ m}^3.$$

- **Verificação pelo Método Prático Australiano**

Nesse método são necessárias várias etapas para se achar o volume do reservatório, pois, o mesmo é obtido através de tentativas até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório. Na Tabela 19 estão os cálculos efetuados.

Tabela 19- Dimensionamento do Reservatório pelo Método Prático Australiano para Residência Popular

Método Prático Australiano	Volume Mensal Produzido de Chuva	Demanda Mensal	Volume de Água que está no tanque no Início do Mês t	Volume de Água que está no tanque no Fim do Mês t		Confiança
Mês	Q(t)	D(t)	V(t-1)	V(t)	V _{t=0}	1-Pr
Janeiro	12,33	6,46	0	5,87	Atende u	75,0
Fevereiro	9,30	6,46	5,87	8,72	Atende u	75,0
Março	10,91	6,46	8,72	13,16	Atende u	75,0
Abril	6,26	6,46	13,16	12,96	Atende u	75,0
Maiο	1,38	6,46	12,96	7,89	Atende u	75,0
Junho	0,20	6,46	7,89	1,63	Atende u	75,0
Julho	0,16	6,46	1,63	0,00	-4,67	75,0
Agosto	0,74	6,46	0,00	0,00	-5,72	75,0
Setembro	2,40	6,46	0,00	0,00	-4,06	75,0
Outubro	8,38	6,46	0,00	1,92	Atende u	75,0
Novembro	12,53	6,46	1,92	7,99	Atende u	75,0
Dezembro	13,50	6,46	7,99	15,03	Atende u	75,0
Total:	78,10	77,51				

Fonte: Do Autor

Observa-se que o volume do reservatório de aproveitamento da água da chuva é de **13,16 m³** e a confiança do sistema é de 75 % o que não é indicado pela norma, visto que, a mesma recomenda valores de confiança entre 90% e 99%. Neste caso, talvez, seja necessário reavaliar as demandas a serem atendidas pelo sistema.

De maneira análoga, pode-se calcular para os demais padrões de residência.

Na Tabela 20, são apresentados os volumes dos reservatórios verificados pelos diferentes métodos da norma para os três padrões socioeconômicos.

Tabela 20 - Volume dos Reservatórios para os Diferentes Métodos e Para os Três Padrões

Método	Volume do Reservatório (m ³)		
	Popular	Médio	Alto
Rippl	26,91	35,30	102,37
Simulação	—	—	—
Azevedo Neto	16,69	34,77	81,14
Prático Alemão	4,65	6,72	18,57

Prático Inglês	4,97	10,35	24,15
Prático Australiano	13,16	33 a 37	85,44
	75%	91,7 a 100%	83,30%

Fonte: Do Autor

Como se pode observar, os valores encontrados variaram muito dependendo do método utilizado e do critério de exigência adotado por eles, ou seja, da confiabilidade do sistema. Pode-se notar que os resultados obtidos pelos métodos Prático Alemão e Prático Inglês são os menores e com volumes inferiores as demandas requeridas, o que resulta em períodos de grandes falhas.

Os métodos de Rippl, Azevedo Neto e Prático Australiano resultaram em volumes muito grandes para os reservatórios o que encareceriam muito o sistema de aproveitamento da água da chuva, uma vez que, o reservatório é um dos elementos mais caros do sistema, além do que, mesmo com esses volumes, excetuando-se o de padrão médio, a confiabilidade do sistema estaria abaixo do recomendado pela norma, isto é, haveria um período de 2 a 3 meses com os volumes abaixo da capacidade total dos reservatórios. Neste caso se faz necessário tomar duas decisões: reavaliar os pontos de consumo e/ou utilizar o sistema de aproveitamento visando à redução na conta de água dos meses chuvosos, dessa forma, poder-se-ia adotar um reservatório menor mais factível do ponto de vista financeiro.

5.7 EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

É importante saber a eficiência do sistema de aproveitamento da água da chuva para se estimar o quanto o sistema irá atender as demandas não potáveis da residência. Dependendo dessa estimativa, poderá ser indicado ou não a necessidade de um novo dimensionamento da área de captação da água, do reservatório, dentre outros componentes ou até mesmo a necessidade de suprir essa falta com a água fornecida pela concessionária.

A eficiência do aproveitamento da água da chuva é calculada da seguinte forma:

$$E\% = \frac{Q_{AC}}{Q_{NP}} \times 100$$

Onde: E é a eficiência (%); Q_{AC} é o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável ($m^3/mês$); Q_{NP} é o somatório das demandas não potáveis ($m^3/mês$).

Foram obtidos dos itens 5.2 e 5.4, respectivamente, os valores das demandas não potáveis e dos volumes estimados da chuva captada pelos sistemas de aproveitamento da água da chuva necessários para o cálculo da eficiência. Na Tabela 21 foram apresentadas as eficiências para os três padrões de residência.

Tabela 21- Eficiência Mensal do Sistema de Aproveitamento da Água da Chuva para os Três Padrões

Mês	Eficiência (%)			Análise
	Popular	Médio	Alto	
Janeiro	193	278	235	Passou
Fevereiro	146	210	177	Passou
Março	171	246	208	Passou
Abril	~100	142	120	Passou
Maio	23	33	28	Não passou
Junho	5	7	6	Não passou
Julho	4	6	5	Não passou
Agosto	13	19	16	Não passou
Setembro	39	56	47	Não passou
Outubro	132	189	160	Passou
Novembro	196	282	238	Passou
Dezembro	211	304	257	Passou
média	103	148	125	Passou

Fonte: Do Autor

Observa-se que o sistema de aproveitamento da água da chuva irá atender a 100% das demandas não potáveis das residências nos meses de Janeiro a Abril e de Outubro a Dezembro, visto que, a produção da água da chuva é superior à demanda requerida pelas residências. No entanto, nos meses de Maio a Setembro, percebe-se que o sistema não atende a demanda; portanto, recomenda-se que nesses meses se utilize de forma complementar os serviços das concessionárias, visto que, seria inviável a reservação da água dos meses anteriores.

5.8 LEVANTAMENTO DOS MATERIAIS E CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

Devido as características climáticas da cidade de Brasília e dos volumes obtidos pela norma serem elevados, como apresentados na Tabela 20, torna-se inviável do ponto de vista financeiro e técnico a implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva para atender essas residências, principalmente, nos períodos de seca, que se sabe podem chegar a 4 meses em alguns anos. Foi necessária por esses motivos a reavaliação dos pontos de consumo para reduzir a demanda da água não potável e consequentemente o volume dos reservatórios, e também, optou-se em adotar o sistema visando, principalmente, a redução da conta de água nos

meses chuvosos, enquanto que para os demais meses será utilizado complementarmente à água fornecida pela CAESB.

Após a inviabilidade de suprir totalmente o consumo com a água aproveitável da chuva, optou-se por retirar rega de jardim e lavagem de carro para as demandas externas. Sendo assim, é necessário reavaliar os pontos de consumo abastecidos pela água captada. Na Tabela 22, são apresentadas as novas demandas para cada padrão.

Tabela 22- Novas Demandas Após a Reavaliação dos Pontos de Consumo

Demandas	Popular (m³/mês)	Médio (m³/mês)	Alto (m³/mês)
Interna	5,92	7,66	9,19
Externa	0,19	0,64	6,40
Total:	6,11	8,30	15,59

Fonte: Do Autor

Foram adotados os seguintes volumes de reservatórios para cada padrão, com base no método prático Alemão, já que, foi utilizado o sistema de aproveitamento da água da chuva, principalmente nos períodos chuvosos, e sabendo que a eficiência do sistema nesses períodos é maior que 100%, como apresentado na Tabela 21.

Tabela 23- Volumes Obtidos Pelo Método Prático Alemão

Método prático alemão						
Vol. Aproveitável	79496	L	Popular	V adotado	4397	L
Demanda	73288				5,00	m³
Vol. Aproveitável	165618	L	Médio	V adotado	5975	L
Demanda	99586				6,00	m³
Vol. Aproveitável	386441	L	Alto	V adotado	11225	L
Demanda	187087				12,00	m³

Fonte: Do Autor

Foram adotados com base nos resultados acima e nos valores das demandas os seguintes volumes comerciais para os padrões popular, médio e alto respectivamente: 8 m³, 10m³ e 15 m³.

Para uma estimativa de valores foi usado um levantamento dos materiais e dos custos de implantação, com base nos valores de algumas empresas que trabalham exclusivamente com sistema de aproveitamento da água da chuva.

Tabela 24- Estimativa de Preço Médios de Mercado Meramente Ilustrativos para Cisterna de 10m³

Item	Quantidade	Preço Médio
Kit para aproveitamento de água da chuva + realimentador	1	2.800,00
Cisterna 10.000 Litros para água da chuva	1	5.961,90
Pedreiro + Ajudante (Diária)	4	1.400,00
Concreto FCK18 (m ³)	1,6	480,00
Retroescavadeira (R\$/h)	3	60,00
Bomba (1ª linha até 1.5cv) + Casa de Máquinas + Materiais Elétricos conforme NBR 5410	1	1.800,00
Encanador (R\$/h)	6	243,00
Eletricista (R\$/h)	6	243,00
Total	-	R\$ 13.287,90

Fonte: ECO CASA (2015) (adaptado)

Para as cisternas enterradas de 8m³ e 15m³, pode-se estimar o valor com base nos preços de mercado dessas cisternas onde se obtêm, respectivamente, os seguintes valores para a implantação: R\$11.012,90 e R\$18.465,90.

Com base nas demandas de água não potável das residências, foi calculado a economia gerada pelo sistema de aproveitamento da água da chuva. Foram utilizadas as tarifas cobradas pela CAESB para o cálculo desses custos, apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25-Tarifas Cobradas pela CAESB

Faixas de consumo (m ³)	Preço /m ³ (R\$)
Até 10 m ³	2,65
11 a 15	4,92
16 a 25	6,28

26 a 35	10,15
36 a 50	11,2

Fonte: CAESB (2016)

Residência de padrão popular

(1º) Cálculo dos custos para atender a demanda não potável da residência de padrão popular se fosse utilizado a água fornecida pela CAESB:

Para uma demanda constante de 6,11m³/mês, tem-se um consumo de água potável na faixa de até 10m³, portanto, a tarifa de água será de R\$ 26,50 e como a tarifa de esgoto corresponde a 60% da tarifa de água, obtêm-se R\$ 15,90 de tarifa de esgoto, logo o total a ser pago mensalmente seria de R\$ 42,40.

(2º) Custo com energia e produtos químicos:

Para se estimar a economia gerada pelo aproveitamento da água da chuva, deve-se diminuir do valor acima o custo dos produtos químicos adicionados na água, bem como o custo da energia elétrica necessária para o funcionamento da bomba. Foram estimados esses valores com base nas tarifas de energia e nos preços de mercado de produtos químicos, como o cloro, da seguinte maneira:

- Produto químico:

A norma recomenda que quando for utilizado o cloro residual livre para a desinfecção, a concentração deve estar entre 0,5 mg/L e 3,0 mg/L, isto é :

Para um reservatório de 8m³ de água devemos utilizar algo entorno de 24 g de cloro. Portanto, tem-se um custo de 0,024Kg x R\$17,9/Kg= 0,43 reais.

- Custo da energia elétrica para o funcionamento da bomba:

Para uma bomba d' água de 1CV, funcionando em torno de 30 minutos por dia, o consumo médio mensal é de 15,77 kWh e com uma taxa de 0,6141, tem-se um custo de 9,68 reais.

Logo, o custo total de energia mais o produto químico gira entorno de 10,0 reais.

Portanto, o custo total que seria economizado pelo sistema é de 32,4 reais mensais (para os meses em que o sistema estiver operando).

Analogamente, podem-se obter os seguintes valores para os demais padrões: R\$32,18 para o padrão médio e R\$ 40,61 para o padrão alto.

Para se calcular o retorno do investimento, divide-se o valor investido pela economia anual com a implantação do sistema de captação e reaproveitamento da água pluvial. Isto é:

$$\text{Retorno/investimento} = \text{Valor Investido} / \text{Economia Anual}$$

Residência de padrão popular

$$\text{Retorno/Investido} = \text{R\$11.012,90} / 32,4 \text{ reais mensais} \times 12$$

$$\text{Retorno/Investido} = 28,3 \text{ anos.}$$

Analogamente, podem-se obter os seguintes valores para os demais padrões médio e alto, respectivamente: 34,4 anos e 37,9 anos.

Analisando o tempo de retorno do valor investido para a implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva para os três padrões, verificou-se que, levará algo entorno de 28 a 38 anos para esse retorno, podendo diminuir, dependendo dos valores principalmente das cisternas adotadas, portanto, do ponto de vista financeiro não se justificaria o investimento. Embora esse período possa parecer longo e inviável economicamente, a decisão de construir um sistemas desses não será tomada exclusivamente sob a óptica financeira, mas sim, com o objetivo de promover a conservação da água, da sustentabilidade hídrica com objetivo de minimizar um problema sério de escassez da água.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizado o estudo da viabilidade econômica do aproveitamento da água da chuva para usos não potáveis para três padrões socioeconômicos de residências em Brasília. Inicialmente, foram estimados as demandas não potáveis dessas residências e em seguida foram levantados os dados pluviométricos da estação ETE NORTE onde se observou a partir desses dados que Brasília apresenta períodos de grandes estiagens, motivo que causa grande preocupação, pois, o índice pluviométrico da região é um dos fatores intervenientes mais importantes no sistema, já que mostra a distribuição das chuvas ao longo do ano, e quanto mais irregulares forem esses índices, mais inconstante será o sistema.

Após essa análise, procedeu-se com os cálculos dos dimensionamentos dos reservatórios pelos métodos propostos pela norma NBR 15527/2007, onde se pode observar que os valores obtidos para cada um dos métodos propostos pela norma variaram muito dependendo da confiabilidade do sistema. Nos métodos Prático Alemão e Prático Inglês encontrou-se os menores volumes que são inferiores as demandas requeridas, o que resultaria em períodos grandes de falhas.

Os métodos de Rippl, Azevedo Neto e Prático Australiano resultaram em volumes muito grandes para os reservatórios o que encareceriam muito o sistema de aproveitamento da água da chuva. Por isso, foi feita uma reavaliação dos pontos de consumo para reduzir a demanda da água não potável e conseqüentemente o volume dos reservatórios, e também, optou-se em adotar o sistema visando, principalmente, a redução da conta de água nos meses chuvosos, enquanto que para os demais meses será utilizado, complementarmente, a água fornecida pela CAESB.

Do ponto de vista financeiro, verificou-se uma condição de inviabilidade econômica, devido ao tempo de retorno financeiro ser bastante longo, entorno de 28 a 38 anos. Entretanto, ainda apresentando esse elevado tempo de retorno, sugere-se que essa tecnologia seja implementada e incentivada, uma vez que a área de estudo apresenta baixa disponibilidade hídrica por habitante, além do incentivo ao reaproveitamento das águas em residências e da redução dos impactos ambientais ocasionados pela captação de água dos mananciais.

7 RECOMENDAÇÃO

Após o término do trabalho, verificou-se a possibilidade de realizar um estudo do ponto de vista da sustentabilidade, mostrando os benefícios e o quanto que esse sistema de aproveitamento da água da chuva contribuí para resolver o problema da escassez hídrica.

Seria interessante fazer um estudo para as demais regiões do Brasil, porém, em regiões com grandes períodos chuvosos, para se fazer uma comparação dos resultados, principalmente quanto a questão dos volumes obtidos pela norma para os reservatórios e posteriormente se fazer o cálculo da economia gerada, bem como do tempo de retorno do investimento.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conservação e Reuso de água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Água de chuva- aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis- requisitos**. NBR 15527: Rio de Janeiro:ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalação predial de água fria**: NBR 5.626. Rio de Janeiro:ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações prediais de águas pluviais**: NBR 10.844. Rio de Janeiro, 1989.
- ATKINS, P.W.; JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- CERQUEIRA, G. A. et al. **A Crise Hídrica e suas Consequências**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (Boletim Legislativo nº 27, de 2015). Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em: 16 abr. 2015.
- DILLAHA III, T.A., ZOLAN, W.J. **Rainwater catchment water quality in Micronesia**. Water Research. V. 19, n.6, p.741-746, 1985.
- GONÇALVES, Ricardo (Coord.). **Uso Racional da Água em Edificações**. 1. Rio de Janeiro: ABES, 2006.
- ATHAYDE JÚNIOR, Gilson; DIAS, Isabelly; GADELHA, Carmem. **Estudo da viabilidade da captação de água de chuva em residências da cidade de João Pessoa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. Resumos... Belo Horizonte, 2007.
- PENA, Rodolfo F. Alves. **"Conflitos pela água no mundo"**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilescola.uol.com.br/geografia/conflitos-pela-agua-no-mundo.htm>>. Acesso em 13 maio 2016.
- PENA, Rodolfo F. Alves. **"Escassez de água no Brasil"**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilescola.uol.com.br/geografia/escassez-agua-no-brasil.htm>>. Acesso em: 13 maio 2016.
- REBELLO, G. A. O. **Conservação da água em edificações: estudo das características de qualidade da água pluvial aproveitada em instalações prediais residenciais**. 2004. 96 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental)- IPT, São Paulo, 2004.
- TEXAS (1997) **Texas Guide to Rainwater Harvesting**. Texas Water Development Board in Cooperation with the Center for Maximum Potential Building Systems. 2ed. Austin: Texas, 1997.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar, 2003.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de Água de Chuva**. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2005.

ZAIZEN, M. et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p.355-359, 1999.

ANEXO A - DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA ESTAÇÃO ETE NORTE

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total (mm/ano)
1971	114,9	156,9	98,4	33,2	11,0	14,3	0,0	0,0	24,4	153,4	277,4	313,5	1197,4
1972	53,9	108,9	28,8	88,8	40,8	0,0	5,8	0,0	28,2	161,1	392,4	501,9	1410,6
1973	145,6	207,8	274,8	98,2	12,8	22,0	1,3	0,0	34,1	50,8	266,7	167,8	1281,9
1974	90,2	146,1	320,3	97,7	10,8	0,0	0,0	31,6	0,2	200,4	189,1	205,5	1291,9
1975	129,0	169,5	51,4	170,0	52,9	0,0	8,9	0,0	11,1	76,4	187,1	175,7	1032,0
1976	86,6	271,4	219,7	38,6	62,0	0,0	3,8	0,0	68,2	122,5	303,5	323,3	1499,6
1977	234,2	44,7	130,6	97,1	5,2	10,6	0,0	10,9	48,6	184,8	117,8	148,3	1032,8
1978	255,2	242,4	142,6	104,2	36,0	6,3	3,8	0,0	4,7	100,6	155,5	146,2	1197,5
1979	554,1	200,1	264,2	49,0	71,0	0,0	0,0	15,1	40,2	111,8	199,9	201,8	1707,2
1980	341,4	228,7	52,2	176,8	35,6	21,7	0,0	0,0	57,0	5,4	158,5	227,8	1305,1
1981	172,0	49,4	301,4	29,8	2,6	27,0	0,0	4,0	0,7	355,4	511,3	173,0	1626,6
1982	481,9	51,7	417,6	171,2	74,3	0,0	0,0	9,7	70,5	191,7	239,8	225,7	1934,1
1983	411,1	228,8	201,6	122,2	31,8	0,0	29,5	1,0	75,7	205,6	371,9	242,6	1921,8
1984	241,1	132,2	196,5	128,4	0,0	0,0	0,0	107,2	72,6	313,8	109,7	166,1	1467,6
1985	305,3	148,6	322,0	177,6	46,5	0,0	0,0	2,9	69,6	234,0	82,4	300,2	1689,1
1986	289,8	125,7	103,3	11,4	24,7	5,4	17,5	49,0	9,1	117,3	167,7	287,1	1208,0
1987	188,4	145,2	302,0	138,6	65,9	3,0	0,0	2,2	76,1	113,2	280,0	381,7	1696,3
1988	120,0	228,1	274,9	108,1	3,0	5,0	0,0	0,0	0,0	154,3	173,2	215,8	1282,4
1989	244,6	271,8	131,9	37,4	0,0	36,0	22,2	35,6	125,2	226,0	249,0	362,5	1742,2
1990	141,2	226,2	86,0	100,4	92,6	0,0	79,9	18,8	93,8	89,8	89,8	29,8	1048,3
1991	213,8	193,6	216,6	125,1	0,2	0,0	0,0	0,0	21,1	94,5	240,1	256,0	1361,0
1992	241,7	255,6	126,7	202,5	0,2	0,0	0,0	13,4	102,6	261,6	299,1	219,2	1722,6
1993	103,0	234,0	39,8	72,4	28,2	8,8	0,0	30,7	74,6	42,0	49,6	253,6	936,7
1994	193,1	139,4	248,4	78,6	29,6	31,2	0,0	0,0	0,0	40,8	202,8	153,0	1116,9
1995	305,3	148,6	322,0	177,6	46,5	0,0	0,0	2,9	69,6	234,0	82,4	300,2	1689,1
1996	289,8	125,7	103,3	11,4	24,7	5,4	17,5	49,0	9,1	117,3	167,7	287,1	1208,0
1999	102,1	109,6	155,4	44,8	4,8	1,8	0,0	0,0	35,4	180,6	234,2	189,8	1058,5
2000	117,6	136,9	206,6	66,5	0,0	0,0	0,5	45,0	88,1	135,2	319,3	112,2	1227,9
2001	72,7	78,8	182,1	100,4	20,6	0,0	0,0	44,4	39,1	140,2	218,5	170,2	1067,0
2002	230,8	187,4	166,7	47,8	30,1	0,0	10,6	8,8	57,4	63,4	165,6	258,7	1227,3
2003	232,4	133,6	222,9	34,5	12,5	0,0	0,0	39,8	11,6	53,9	168,7	134,3	1044,2
2004	295,1	346,2	184,4	178,9	4,7	0,0	0,0	0,0	1,0	115,7	87,0	145,8	1358,8
2005	202,4	216,6	341,1	110,1	10,0	7,2	0,0	63,6	112,4	41,8	250,2	336,9	1692,3
2006	97,6	146,5	247,1	122,8	77,3	0,2	1,2	1,0	41,5	468,1	219,4	264,0	1686,7
2007	224,9	234,8	10,4	34,1	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	51,7	152,0	192,0	908,0
2008	200,8	280,2	214,1	160,7	0,0	0,0	0,0	1,8	70,2	19,5	231,3	247,1	1425,7
2009	266,8	87,8	87,2	349,9	39,9	19,4	0,0	52,5	17,4	224,6	237,5	282,8	1665,8
2010	106,3	57,0	210,0	197,4	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	176,5	206,9	293,7	1261,6
2011	132,1	191,5	261,7	44,0	0,9	5,0	0,0	0,0	7,8	245,3	331,6	230,6	1450,5
2012	197,9	104,5	187,3	78,8	25,0	1,7	2,5	0,0	40,9	125,0	481,1	129,3	1374,0
2013	386,0	46,4	155,9	116,0	41,0	5,5	0,0	0,0	140,2	91,6	204,2	411,6	1598,4
2014	112,4	143,8	301,5	251,9	1,7	0,0	2,2	0,0	10,1	179,0	194,5	324,0	1521,1
2015	194,7	153,2	194,5	171,7	19,8	0,0	0,8	0,0	17,3	70,4	175,7	173,7	1171,8
2016	389,8	57,6	113,4										
média	216,1	163,5	191,3	110,6	26,0	5,5	4,8	14,9	43,7	147,5	219,6	236,3	1380,1